

圓極化高增益綠能天線之設計

(Design of circularly-polarized high-gain green antenna)

鄭敬倫、邱一峰*、陳弘典
國立高雄師範大學光電與通訊工程學系

摘要 — 本文使用太陽能板作為頻率選擇表面，並利用 Fabry-Perot 共振腔原理，來設計圓極化高增益綠能天線。首先對太陽能電池單元做模擬分析，研究其傳輸係數與反射係數的頻率響應。結果發現操作頻率選擇在太陽能電池的 x 與 y 極化反射係數相位差接近 0° ，適合設計高增益綠能天線。此外，為了實現圓極化綠能天線的設計，應選擇設計於 x 與 y 極化傳輸係數的相位差接近 0° 的操作頻率範圍。一個綠能天線的研究案例如下：一太陽能板由 6×6 個太陽能電池所組成，其尺寸大小為 $256 \times 256 \text{ mm}^2$ ；輻射源的中心操作頻率設計在 3.0 GHz、且最佳擺放角度為 $\phi = 45^{\circ}$ 。所完成的模擬阻抗頻寬為 154 MHz (2928 ~ 3082 MHz)，軸比頻寬為 76 MHz (2907 ~ 2983 MHz)，在圓極化頻寬內的天線增益可達到 11.1 ~ 13.0 dBic。

關鍵字：圓極化、綠能天線、頻率選擇表面、Fabry-Perot 共振腔、太陽能板

一、簡介

由於工業的快速發展，造成地球許多污染，影響到人類的生活環境，因而環保議題開始受到重視，綠色工業也成必然的趨勢。在能源的使用上，太陽能符合無污染的要求，非常適合開發為一種新興的可再生能源。太陽能板用來作為轉換太陽能為電能的元件，其應用層面相當廣泛，在特殊用途上如太空中的太陽能太空站、海洋中的海象觀測樁、高山上的定位監視系統等；一般用途上，在都市或郊區的大樓、家庭的屋頂也隨處可見地安裝太陽能板來提供電力。此外，最近各種無線通訊應用例如行動通訊、衛星通訊、無線廣播及無線區域網路等蓬勃發展，到處都可看到負責收發訊號的基地台天線的蹤跡。在同一地點同時安置太陽能板與天線的場合越來越多，但此時可能會出現空間不足、外觀凌亂、無線訊號受到干擾或陽光被遮蔽的問題。因此，為了解決上述問題，將太陽能板與天線整合成單一裝置[1]-[3]，已吸引越來越多的研究者與業者的高度重視，並投入人力與物力去進行前瞻性的研發。其中最具有吸引力的設計之一，為利用太陽能板做為一頻率選擇表面(frequency selective surface, FSS)，來設計一 Fabry-Perot(F-P)共振腔天線，用以增加天線增益的目的[4, 5]。此設計最重要的創新之處除了保持原來太陽能電池光電轉換功能不受影響外，同時天線輻射源埋在太陽能板下方，可使整體裝置所佔的面積縮小且提供高增益天線的優點。

使用圓極化天線的優點可降低發射及接收天線對齊

電波極化方向的要求，且可降低多重路徑電波衰減的問題。在衛星通訊的應用上，圓極化波在通過電離層時，其傳播特性受到法拉第旋轉的影響最少，能滿足衛星通訊之需求。利用太陽能板來設計圓極化 F-P 共振腔天線，我們認為它非常適合當做衛星通訊的天線使用，主要是因為此種天線除了具有高增益的優點，同時其最大增益方向與太陽能板的陽光入射方向一致(垂向輻射)，可以同時兼顧提供電能及訊號收發的能力。

近年來，只有少許文獻提出圓極化 F-P 共振腔天線的設計[6]。本文藉由將太陽能板與天線整合在一起，其中太陽能板作為 FSS 元件，輻射源為圓極化微帶天線，利用 F-P 共振腔原理，來實現高增益的圓極化天線設計。

二、天線設計

圖一(a) 為所提的綠能天線結構圖，包含 6×6 方形陣列太陽能板、圓極化微帶天線的輻射源與一金屬接地平板。 h 為太陽能板與接地平板之間的高度。圖一(b)為當作輻射源的圓極化微帶天線結構圖。其製作於相對介電常數為 4.4、損耗正切為 0.02、厚度(t)為 1.6 mm 的 FR4 微波基板。方形輻射金屬片的邊長(L_m)為 23.2 mm，饋入位置離方形金屬片中心的距離(d_p)為 6 mm。輻射源轉動 ϕ 角(與 x 軸的夾角)為 45° ，且放置於金屬接地面面上，太陽能板與金屬接地平板的尺寸($L_g \times L_g$)皆為 $256 \times 256 \text{ mm}^2$ 。

F-P 共振腔天線的設計中，影響天線增益表現的關鍵因素是頻率選擇表面的設計。在本文中，太陽能板做為 FSS 的元件，而太陽能電池擔任 FSS 單元的角色。由於太陽能電池的結構與傳統 FSS 單元不同，充分認識太陽能電池的結構，並分析太陽能單元之傳輸及反射係數特性，有助於了解太陽能板適合圓極化波輻射的操作條件。圖一(d)為太陽能電池單元，由上而下依序排列的元件為玻璃保護層(glass layer)、匯流導線(bus bar)、金屬柵極(metal finger)、P-N 型半導體、背面電極(rear electrode)及封裝塑料(Tedlar film)。本天線設計中太陽能電池單元的週期為 42 mm；P-N 半導體長度與寬度皆為 38 mm，厚度約為 0.2 mm，介電常數約為 15.3，導電率約為 $2.5 \times 10^6 \text{ S/m}$ ，可視為一導體；背向電極與匯流導線的寬度為 2 mm，厚度約為 0.11 mm；玻璃保護層用來保護太陽能板不受外力破壞，其厚度約為 3.2 mm，介電常數約為 5.5；封裝塑料的厚度為 0.3 mm，介電係數

為 3。圖一(c) 是由 6×6 個太陽能電池組成的方型陣列太陽能模組板。太陽能板可以當作帶通 FSS，其原因是太陽能電池與太陽能電池之間存在一電容，且太陽能電池的匯流導線與背面電極連接處的導線存在一電感，可形成電容與電感並聯的帶通諧振電路。

三、結果與討論

本設計使用 HFSS 模擬軟體對綠能天線進行模擬分析。首先研究太陽能電池對於電磁波的反射及傳輸的行為。為了減少模擬時間，我們採用簡化的太陽能電池單元模型[5]，其由玻璃保護層、匯流導線、P-N 半導體與封裝材料所組成。圖二 (a)及(b)為太陽能電池之模擬反射係數的振幅及相位結果。由相位結果得知，在 2.0 ~ 2.5 GHz 的頻率範圍內，x 極化與 y 極化入射波的反射係數相位差異頗大，無法同時使兩者極化波在相同的共振腔高度下獲得高增益的共振條件，預期在此頻率範圍，不易完成高增益天線設計。反之，在 3.0 ~ 4.0 GHz 的頻率範圍內，由於 x 極化與 y 極化波的反射係數相位差異相當接近，預期可以同時使兩者極化波達成高增益的共振條件，導致可能完成高增益天線設計。圖三(a)及(b)為太陽能電池之傳輸係數的振幅及相位結果，由相位結果得知，在 3.0 ~ 4.0 GHz 頻率範圍內，x 極化與 y 極化波的傳輸係數相位差距不大，暗指在此頻率範圍內，圓極化波入射到太陽能板時，穿透出去的電波比較接近圓極化波。

上述已探討太陽能電池單層穿透的模擬結果，接下來分析整合太陽能板與圓極化微帶天線的激發源成爲一綠能天線，研究此天線的增益與圓極化表現。一個綠能天線的模擬與實作案例，其天線參數如下： $L_g = 256$ mm， $\phi = 45^\circ$ ， $t = 1.6$ mm， $L_m = 23.2$ mm， $L = 46.4$ mm， $d_p = 6.0$ mm， $\Delta w = 3.3$ mm。圖四~六分別爲改變共振高度 h 所得到此綠能天線的模擬返回損失(RL)、軸比值(AR)、增益的結果。爲了比較，圖中亦呈現只有輻射源(only source)的結果。由圖四可看到 h 的改變，只些微影響阻抗頻寬。在 $h = 55$ mm 時，其阻抗頻寬($RL \geq 10$ dB)約爲 154 MHz (2928 ~ 3082 MHz)。從圖五中可得知 only source 的圓極化頻寬約爲 44 MHz (2976 ~ 3020 MHz)。然而綠能天線在 $h = 55$ mm 時，其圓極化頻寬約爲 76 MHz (2907 ~ 2983 MHz)；至於在 $h = 56$ mm 時，其圓極化頻寬達到 117 MHz (2859 ~ 2976 MHz)，遠大於天線輻射源的結果。從圖六可得知 only source 在圓極化操作頻帶內，其增益大約只有 4.0 dBic 左右。然而綠能天線在 $h = 55$ mm 時，在圓極化操作頻帶內的增益大幅增加到 11.1 ~ 13.0 dBic，遠大於天線輻射源的結果；至於在 $h = 56$ mm 時，其圓極化頻寬內的增益稍小於 $h = 55$ mm 的結果，大約介於 9.5 ~ 11.7 dBic。其綠能天線結果如表 I 所示。

本設計中，藉由檢視在 $\theta = 0^\circ$ 平面上 x 及 y 方向遠場電場分量振幅(E_x 和 E_y)及相位(ϕ_x 和 ϕ_y)，來說明此綠能天線的圓極化特性，如圖七所示。由圖中可看出在 2.95 GHz，其電場振幅 E_x 和 E_y 大約相等，且 y 方向電

場相位(ϕ_y)領先 x 方向電場相位(ϕ_x)約 90° ，可得到良好的左旋圓極化輻射。圖八爲本綠能天線於 3.0 GHz 的模擬輻射場型圖。圖中所有電場分量已被最大電場正規化的結果。可以看到天線在接近 $\theta = 0^\circ$ 的方向有最大的輻射場值，且 E_θ 和 E_ϕ 幾乎相等，證實此設計具有良好的圓極化輻射。

表 I
改變共振高度 h 所得到的結果

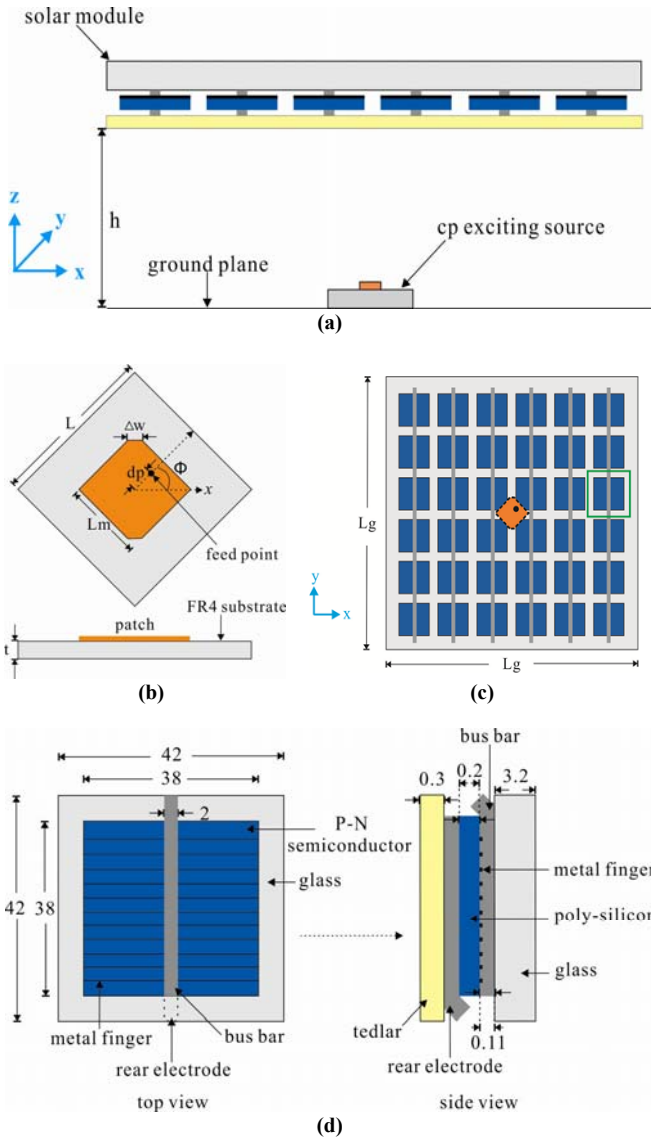
	阻抗頻寬(MHz) ($RL \geq 10$ dB)	軸比頻寬 (MHz) ($AR \leq 3$ dB)	輻射增益 (dBic)
only source	2902~3079 (177 MHz, 5.91%)	2976~3020 (44 MHz, 1.47%)	4.03~4.08
$h = 55$ mm	2928~3082 (154 MHz, 5.13%)	2907~2983 (76 MHz, 2.53%)	11.1~13.0
$h = 56$ mm	2930~3078 (148 MHz, 4.94%)	2859~2976 (117 MHz, 3.9%)	9.5~11.7

四、結論

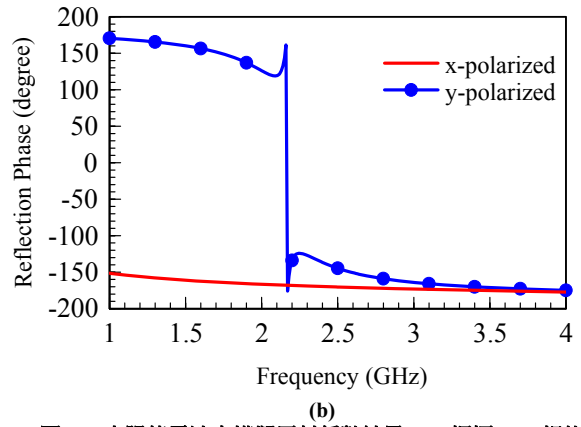
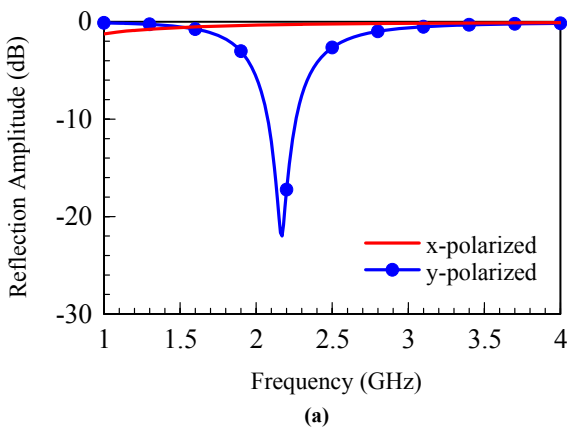
本文已實現利用太陽能板設計出具有圓極化輻射且高增益之綠能天線，其 10 dB 模擬的阻抗頻寬爲 154 MHz (2928 ~ 3082 MHz)，3 dB 軸比頻寬爲 76 MHz (2907 ~ 2983 MHz)，在圓極化頻寬內的天線增益可達到 11.1 ~ 13.0 dBic。

參考文獻

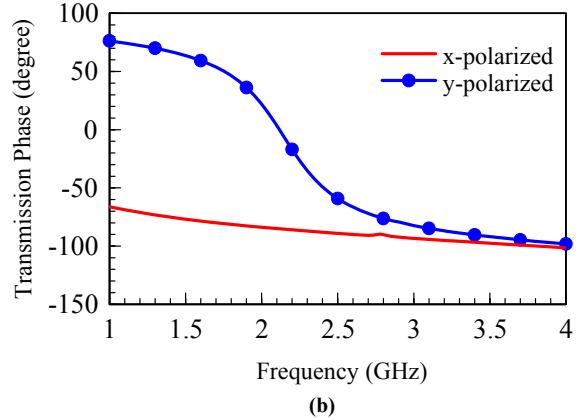
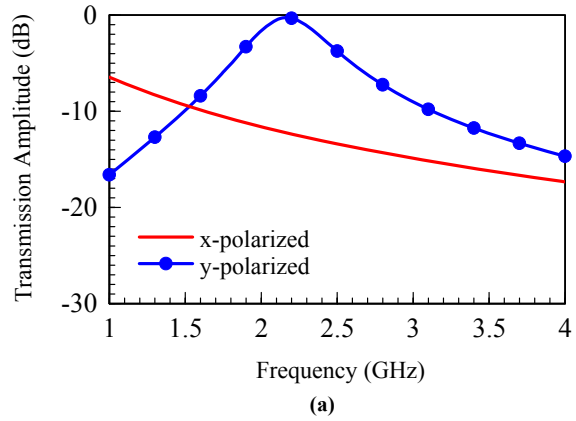
- [1] S. Vaccaro, J. R. Mosig, and P. de Maagt, "Two advanced solar antenna 'SOLANT' design satellite and terrestrial communications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 8, pp. 2028-2034, 2003.
- [2] S. Vaccaro, C. Pereira, J. R. Mosig, and P. de Maagt, "In-flight experiment for combined planar antennas and solar cells (SOLANT)," *IET Microw. Antennas Propagat.*, vol. 3, no. 8, pp. 1279-1287, 2009.
- [3] R. Caso, A. D'Alessandro, A. Michel, and P. Nepa, "Integration of slot antenna in commercial photovoltaic panels for stand-alone communication systems," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 61, no.1, pp. 62-69, 2013.
- [4] T. C. Pu, H. H. Lin, C.Y. Wu, and J.H. Chen, "Photovoltaic panel as metamaterial antenna radome for dual-band application," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, no. 10, pp. 2382-2388, 2011.
- [5] 莊榮綸，陳弘典，吳俊燿，楊惠文，"利用太陽能板設計高增益綠能天線，" 2012 全國電信研討會，台灣師大，paper no. 1191, 2012 年 11 月。
- [6] D. H. Lee, Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mittra, and W. S. Park, "Directivity enhancement of circular polarized patch antenna using ring-shaped frequency selective surface superstrate," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no.1, pp. 199-201, 2007.



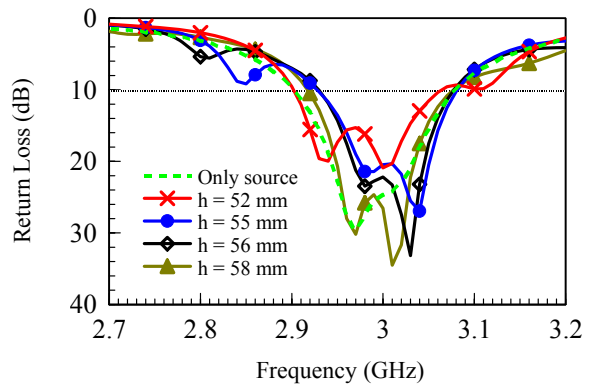
圖一：(a)圓極化綠能天線結構；(b)圓極化微帶天線之輻射源；(c)6×6方形陣列太陽能板；(d)太陽能電池單元。



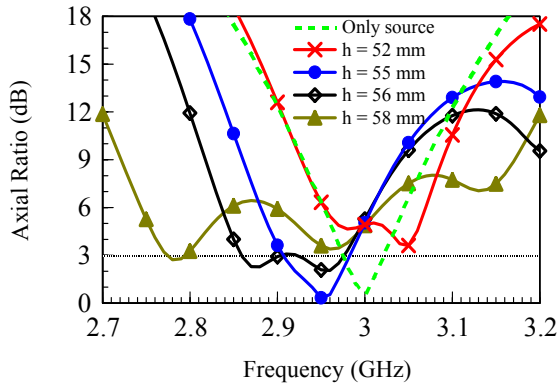
圖二：太陽能電池之模擬反射係數結果。(a)振幅；(b)相位。



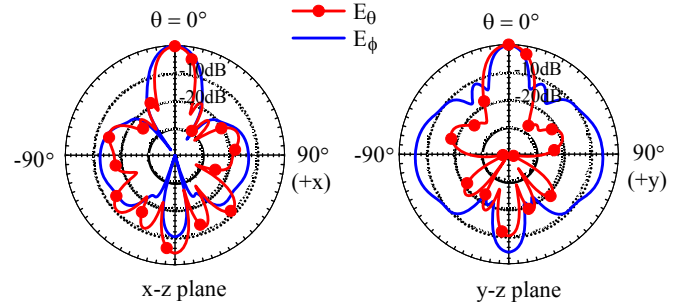
圖三：太陽能電池之模擬傳輸係數結果。(a)振幅；(b)相位。



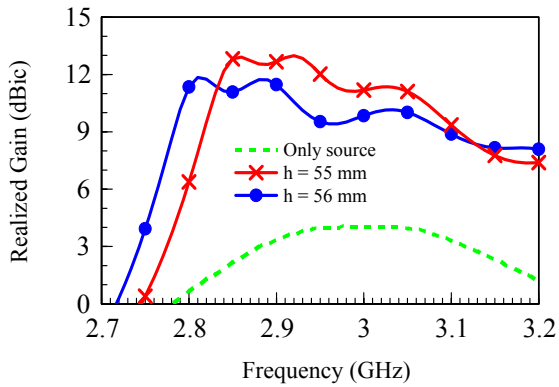
圖四：改變共振高度 h 所得到綠能天線的模擬返回損失結果。



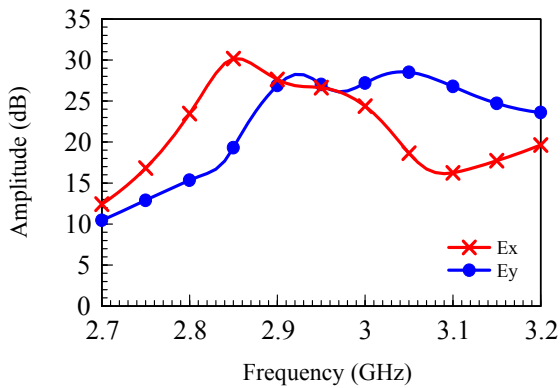
圖五：改變共振高度 h 所得到線能天線的模擬軸比圖。



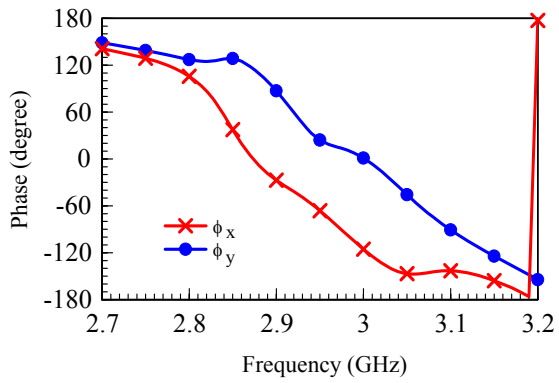
圖八：本項線能天線在 3.0 GHz 之模擬輻射場型圖； $h = 55$ mm。



圖六：改變共振高度 h 所得到線能天線的模擬增益圖。



(a)



(b)

圖七：本項線能天線在 $\theta = 0^\circ$ 平面的模擬遠場電場振幅及相位圖； $h = 55$ mm。(a) x 及 y 方向電場振幅。(b) x 及 y 方向電場相位。